

на данный вид измельчения фактов, которые являются существенными для других видов физико-механического воздействия на перерабатываемый материал. Информация, рассмотренная в данной статье, несет и

практический характер для дальнейшего рассмотрения вопросов связанных с измельчением твердых материалов в химической промышленности и разработки машин и аппаратов для указанных процессов.

### Литература

1. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности// Химия, М., 1979
2. Щупляк И. А. Измельчение твердых материалов в химической промышленности// Химия, Л., 1972.
3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии// Химия, М., 1971.
4. Мухленов И. П., Кузнецов Д. А., Авербух А. Я. и др. Общая химическая технология// Высшая школа, М., 1964.
5. Розенбаум Е. Е. Моделирование и оптимизация процесса измельчения сыпучих материалов (на примере производства автоклавного ячеистого бетона)// Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М. 1993.

УДК 629.1.032.1

## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

**Кохановский Н.В.**

*Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Харьковского института танковых Войск НТУ "ХПИ", ул. Полтавский шлях, 192, г. Харьков, Украина, 61034  
Контактный тел.: (057) 772-61-67*

**Стаховский О.В.**

*Кандидат технических наук. Начальник научно-исследовательской лаборатории Харьковского института танковых Войск НТУ "ХПИ", ул. Полтавский шлях, 192, г. Харьков, Украина, 61034.  
Контактный тел.: (057) 772-61-67*

**Янчик А.Г.**

*Начальник инженерного факультета Харьковского института танковых Войск НТУ "ХПИ", ул. Полтавский шлях, 192, г. Харьков, Украина, 61034.  
Контактный тел.: (057) 772-61-67*

*Сделан анализ некоторых важных на взгляд авторов факторов, определяющих несущую способность гусеничного движителя и не получивших должного отражения в существующих показателях опорно-временных свойств проходимости гусеничных машин. На основе анализа сформулированы рекомендации к принятию конструктивных решений ходовой части и математическому моделированию процессов деформации грунта*

### 1. Введение

Проходимость, как частный показатель подвижности, является одним из основных критериев техническо-

го уровня современных гусеничных машин (ГМ) специального назначения. Создание конкурентоспособной на мировом рынке машины, отвечающей всем новейшим, часто противоречивым требованиям, возможно только

на основе системного подхода с использованием методов многокритериального оптимального проектирования. В связи с этим, на первом этапе проектирования при разработке математических и иных средств поддержки принятия решений необходим подробный анализ всех факторов, определяющих исследуемый процесс. В статье приведен анализ некоторых важных на взгляд авторов факторов, определяющих несущую способность гусеничного движителя и не получивших должного отражения в существующих показателях опорно-временных свойств проходимости ГМ.

## 2. Предмет исследования

Результат взаимодействия звена гусеницы с грунтом определяется прежде всего физико-механическими свойствами последнего, а также особенностями процессов нагружения и распространения деформаций в грунтовом массиве. Знание физико-механических свойств грунтов и механики взаимодействия звена гусеницы с грунтом позволяет путем выбора формы звена улучшить использование несущей способности данного типа грунта.

При вдавливании штампа в однородный на достаточную глубину грунт происходит срез грунта по периметру штампа и его уплотнение. По мере увеличения удельного давления увеличение осадки грунта происходит не только вследствие его упругого и пластического сжатия, но и вследствие выдавливания его частиц из под штампа в окружающую среду. Чем меньше площадь погружения, тем сильнее боковое смещение грунта и тем меньше используется несущая способность последнего [1]. Практика эксплуатации гусеничных машин показывает, что на малосвязных грунтах при равном удельном давлении лучшую грузоподъемность машины обеспечивают более широкие гусеницы. А на связных грунтах значительное сопротивление погружению гусеницы в грунт оказывает срез грунта по периметру трака и взаимодействие частиц грунта в граничной области по контуру трака. С увеличением истинного сцепления грунта с весомость указанной составляющей становится существенной. Для болота, например, составляющая сопротивления среза дерна по периметру штампа становится определяющей. Поэтому, для связных грунтов при равном удельном давлении большую грузоподъемность могут обеспечить более длинные опорные поверхности с большим периметром. Практика подтверждает тот факт, что на связных грунтах для ажурных траков, у которых общая длина линии среза грунта увеличена, несущая способность гусеницы выше. Наличие вырезов снижает металлоемкость гусеницы и положительно отражается на ее сцепных качествах, а также на самоочищаемости гусениц [2]. Для несвязных грунтов составляющая сопротивления грунта срезу незначительная. Поэтому, на несвязных (песчаных) грунтах увеличение ажурности трака гусеницы при некотором улучшении сцепных качеств ухудшает ее несущую способность, так как приводит к росту удельных давлений. Поэтому, для гусеничных машин, эксплуатируемых на разных типах грунтов, для оптимальных соотношений несущей способности и сцепления с грунтом не рекомендуется увеличивать ажурность более  $0,3 \div 0,35$ . Для гусеничных же машин, эксплуатируемых преимущественно на связных грунтах, при проектировании гусеничных траков рекомендуется

предусматривать как можно больше вырезанных площадей (без ущерба для прочности трака), то есть увеличивать периметр режущих кромок.

Уменьшению осадки грунта способствует задание опорной поверхности трака такой формы, при которой обеспечивается рассеивание напряжений и понижение уровня нагрузок кромок звена, что способствует уменьшению смещения грунта в стороны и снижению его разрушения.

В зависимости от вариаций физико-механических свойств грунта зависимость «напряжение-деформация» представляется в виде разных моделей, отражающих основные закономерности процесса деформации грунта. Результаты эксперимента по вдавливанию штампов в грунт показывают, что характер зависимости удельных давлений от деформации

$$q=f(z) \quad (1)$$

существенно изменяется в зависимости от состояния грунта (влажности – для связных грунтов; плотности – для песчаных грунтов и снега), а также от толщины слабого (переувлажненного или разрыхленного) слоя грунта.

Для гусеничных машин, для которых среднее удельное давление значительно ниже, чем для автомобилей, а максимальное удельное давление не превосходит несущей способности грунта, связь удельного давления с глубиной прессования грунта представляется зависимостью

$$q=(K_c/b+K_\phi)Z^m \quad (2)$$

где  $K_c$  - коэффициент, характеризующий связность грунта;  $b$  - наименьший размер площадки нагружения;  $K_\phi$  - коэффициент внутреннего трения грунта;  $m$  - показатель степени, учитывающий свойства грунта.

Зависимость (2) представляет грунт как идеальную упруго-пластичную среду и не позволяет учесть влияние на деформируемость грунта динамики нагружения. Реально же грунт представляет собой дисперсную обобщенную упруго-вязкую среду, для которой связь между напряжением  $G$  и деформацией  $\varepsilon$  можно приближенно описать уравнением:

$$n\dot{G}+G=nH\dot{\varepsilon}+E\varepsilon, \quad (3)$$

где  $E$ ,  $H$  - модули упругости;  $n$  - время релаксации.

Вследствие неоднородности грунта и наличия в нем трех фаз (минеральной части, воздуха и воды), а также взаимодействия этих фаз между собой на процесс деформации грунта существенно сказывается фактор времени. Наличие в грунте поровой воды определяет появление составляющей вязкого сопротивления деформации грунта, обусловленной дросселированием воды сквозь поры грунта. Последнее определяет зависимость осадки грунта от временных факторов нагружения. Зависимость (3) отражает реально имеющее место свойство ползучести и релаксации, присущее грунтам. Явление ползучести здесь проявляется в том, что даже при постоянном давлении на грунт с течением времени происходит увеличение деформации последнего. В [3] зависимость необратимой деформации грунта от времени при постоянном удельном давлении получена в виде:

$$\varepsilon_1=q\left[\frac{1}{\Pi}+\frac{1}{\eta_0\chi}\ln(1+\chi t)\right] \quad (4)$$

где  $\Pi$  - модуль необратимой деформации, оценивающей ту ее часть, которая развивается с весьма высокими скоростями (как при «мгновенных нагрузках»);  $\chi$  - константа грунта, коэффициент изменения вязкости.

Явление релаксации сказывается в понижении сопротивления грунта деформациям с течением времени. Последнее равнозначно повышению несущей способности грунта с уменьшением продолжительности приложения нагрузки, что в общем равнозначно уменьшению коэффициента сопротивления движению с увеличением скорости движения и (при прочих равных условиях) с уменьшением длины опорного участка гусеничного движителя. Именно свойствами ползучести и релаксации вязко-упругих грунтов объясняется тот факт, что болотные трактора имеют при широких траках сравнительно короткую длину опорной ветви. А снижение затрат мощности на образование колеи при увеличении удельной мощности двигателя достигается потому, что в последнем случае возможно движение в данных дорожных условиях с более высокой скоростью. При этом с увеличением скорости достигается уменьшение глубины колеи и коэффициента буксования.

В реальных условиях каждый трак по мере перекачивания по нему опорных катков оказывает на грунт многократные (по числу опорных катков на одном борту) циклического характера нагружения и разгрузки. При этом происходит процесс накопления деформации грунта из-за повторности нагружения, аналогичный процессу накопления деформации из-за ползучести. Экспериментальным путем установлено, что при одном и том же времени действия одинаковой нагрузки необратимая деформация грунта от повторных нагружений в среднем в 1,4 раза больше, чем при ползучести [3]. Экспериментально полученные зависимости удельного давления на грунт от его деформации при многократных нагружениях показывают, что даже при уменьшающемся давлении под последующими опорными катками имеет место приращение осадки грунта при каждом последующем нагружении. Последнее объясняется уменьшением «взаимозаклинивания» в грунте из-за обратных движений грунтовых частиц в период разгрузки, вследствие чего в период нового нагружения создаются условия для образования дополнительной деформации. В [3] установлена логарифмическая зависимость для деформации грунта от количества нагружений  $n$  одинаковым давлением в виде:

$$Z_n = Z_1(1 + \chi \ln n)$$

где  $Z_1, Z_n$  - деформации грунта при одном и  $n$  нагружениях.

Определяемый экспериментально коэффициент накопления деформации  $\chi$  в зависимости от вида грунта, его влажности, и величины нагрузки изменяется в широких пределах (0,3 ÷ 1,5).

Наличие в грунте поровой воды приводит к зависимости деформации грунта от формы эпюры распределения удельных давлений по длине опорного участка гусеничного обвода [4]. Так из опыта эксплуатации гусеничных машин на торфяно-болотных грунтах известно, что при убывающей эпюре нормальных давлений глубина колеи меньше, чем при возрастающей. Это объясняется тем, что поровая вода в начальный момент не успевает отфильтроваться и на скелет грунта передается лишь часть нормальных давлений. Поэтому, осадка грунта не

успевает развиваться под передними звеньями до максимальных значений. При последующем нагружении из-за убывающей эпюры давление уменьшается, что способствует ухудшению фильтрации воды из грунта, и хотя осадка продолжает расти, но меньше, чем в случае смещения центра давления назад. В последнем случае с повторным нагружением нормальное давление нарастает, что и способствует большему увеличению осадки.

Так как в процессе уплотнения грунта по мере сближения грунтовых частиц в работу вступают все более вязкие слои молекулярной оболочки, то модуль деформации  $E$  увеличивается с уплотнением грунта. Это обстоятельство определяет необходимость учета изменения модуля упругости грунта при последующих нагружениях [5].

При уменьшении сдвигивающей силы грунт не возвращается в свое первоначальное положение, так как в сближившихся частицах возникают силы притяжения тем большие, чем ближе сдвинуты частицы. Это определяет необратимую деформацию грунта, которая гораздо значительней (во много раз) обратимой деформации. Обратимая деформация является результатом расклинивающего действия пленки молекулярной воды, что приводит при уменьшении сдвигивающих сил к разбуханию грунта. То есть, молекулярная вода сообщает грунту свойства как упругость твердых тел. Отличие состоит в том, что молекулярная вода – вязкое тело, поэтому как сжатие, так и разбухание грунта происходит не сразу. Если есть свободная вода, то разбухание происходит быстрее, нет – медленнее. Это запаздывание обратимой деформации справедливо вызывает вопрос: можно ли считать обратимую деформацию упругой, приводящей к возникновению взаимно уравновешивающих реакций грунта и не вызывающей сопротивления движению.

На наш взгляд обратимая деформация, не являясь упругой на большинстве типов грунтов, вызывает на этих грунтах дополнительные затраты мощности на повторную допрессовку грунта последующими опорными катками. Поэтому, необходимо создать условия для ограничения снижения удельных давлений на «не активных» участках обвода. При выравнивании эпюры нормальных давлений глубина колеи будет уменьшаться как вследствие уменьшения максимальных удельных давлений, так и вследствие замены увеличения осадки грунта из-за повторности нагружения увеличением осадки грунта из-за ползучести.

Выравниванию эпюры нормальных давлений на «не активных» участках опорной ветви способствуют увеличение продольной и изгибной жесткости гусеницы, действующих на этих участках растягивающих сил, оказывающих сопротивление прогибу ветви внутри обвода. Этому же способствует и задание РМШ предварительной закрутки.

Увеличению осадки грунта под действием нормальной нагрузки способствует вибрация, оказывающая расклинивающее воздействие на ограничивающее деформацию грунта «взаимозаклинивание» грунтовых частиц. Так как в состав грунта входят соприкасающиеся между собой твердые зерна, то при достаточной интенсивности динамических воздействий происходит их взаимное проскальзывание, приводящее к вибрационному снижению сил сухого трения и видимому разжижению уплотняемой среды. Наложение знакопеременного напряжения на постоянное нормальное напряжение, оказываемое на

грунт ходовой частью, увеличивает ползучесть грунта (виброползучесть). Аналогично при наличии вибрации увеличивается и релаксация грунта. Особенно существенно (на 20-30%) под влиянием вибрации снижается сопротивление деформации связных грунтов влажностью выше предела пластичности. Для несвязных грунтов вибрация не оказывает существенного влияния на сопротивление их деформации [3].

Очевидно, что степень влияния вибраций на уменьшение сопротивления грунта деформациям зависит от гранулометрического состава грунта, а также от интенсивности и частотного спектра вибрации. Применение гусениц с РМШ, опорных катков с массивной наружной шиной, гусеницы с обрезиненной беговой дорожкой уменьшит вибрационную составляющую воздействия гусеничного движителя на грунт и улучшит его несущую способность.

Низкочастотная составляющая знакопеременного воздействия на грунт, обусловленная колебаниями корпуса, накладываясь на постоянную составляющую нормального давления, снижает несущую способность движителя, так как существенно увеличивает максимальные удельные давления. Появление дополнительного динамического воздействия на грунт может быть обусловлено колебаниями корпуса не только при движении по неровностям, но и от появления инерционных сил при замедлении или разгоне, при переключении передачи с разрывом потока мощности. При этом величина динамической составляющей будет определяться параметрами плавности хода, обеспечивающимися системой поддрессирования. Улучшение показателей плавности хода достигается уменьшением приведенной жесткости подвески  $C_{пр}$ , увеличением динамических ходов катков, применением мощных амортизаторов подвески. Однако, уменьшение  $C_{пр}$ , снижая динамическую составляющую давления на грунт при движении по неровностям, ухудшает ее при замедлении и разгоне машины, так как

повышается склонность машины к «клевкам». Кроме того, с уменьшением приведенной жесткости подвески при неизменном статическом натяжении обвода ухудшается статика нагружения опорных катков.

### 3. Выводы:

3.1. При выборе формы трака, его ажурности и развитости грунтозацепов следует учитывать тип грунта предполагаемого района эксплуатации гусеничной машины.

3.2. Обобщенный показатель проходимости гусеничных машин на связных и переувлажненных несвязных грунтах должен отражать реологические свойства грунта, временные и силовые параметры циклического нагружения.

3.3. Опорно-временные и тягово-сцепные свойства проходимости гусеничных машин находятся в положительной корреляции от показателей плавности хода и в отрицательной корреляции от показателей динамической и вибрационной нагруженности.

### Литература

1. Малиновский А.Н. Ходовая часть гусеничных машин. – М.: Воениздат министерства обороны СССР, 1963, -119с.
2. Механик Х.Е. К вопросу о выборе формы трака гусениц для снегоходных машин. –Труды института НИИ-21. –1963, -№13. –С.3-7.
3. Хархута Н.Я., Иевлев В.М. Реологические свойства грунтов. –М.: Автотрансиздат, 1961. –63с.
4. Скотников В.А., Пономарев А.В. Проходимость машин. –Минск: Наука и техника, 1982. –382с.
5. Беккер М.Г. Введение в теорию системы местность-машина. –М.: Машиностроение, 1973. –520с.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Интеграция разнообразных систем связи – одна из основных эволюционных тенденций в мире связи. Это характеризует переходную стадию в развитии компьютерных коммуникаций. Существующие мобильные системы в скором времени уступят новым распространяющимся окружающим средам, которые создадут беспрецедентные уровни свободы мобильности и прозрачности*

*The creation of a global integrated computing environment on the current technological basis is a natural interim step in the evolution process. However, many specific ideas of pervasive computing can be incorporated already for a graceful and more efficient solution of the integration problem*

## INTEGRATION OF COMMUNICATION ENVIRONMENTS: VISION AND TRENDS

**Dmytro Zhovtobryukh**

*Department of Mathematical  
Information Technology, University of  
Jyväskylä, 40014 Jyväskylä, Finland*

*e-mail: dzhovto@cc.jyu.fi*

### 1 Introduction

Recently, new technological challenges have been presented in the field of communications with the emergence of

the “next generation networks” concept. Most of them are predictable and strive to preserve the most valuable features of the current second-generation networks and the Internet. Next generation networks will be characterized by superior quality in wireless communication at the highest speeds and